

# Hyperthermia용 안테나에 의해서 인체 간에 유기되는 온도 상승량 계산

신국선, 김 남

충북대학교 정보통신공학과

TEL : 043-276-9957/FAX : 043-274-6206

## Computation of Temperature Rise in the Human Liver Caused by Hyperthermia Antenna

Kooksun Shin, and Nam Kim

Dept. of Computer and Communication Eng., Chungbuk Nat'l Univ.

San 48, Cheongju, Chungbuk, 361-763, Korea

E-mail)ksshin@osp.chungbuk.ac.kr

### Abstract

Hyperthermia용 안테나의 성능은 안테나의 임피던스 매칭과 안테나 주위 조직의 SAR 분포에 의해서 결정된다. 본 논문에서는 FDTD 해석법을 이용하여 Coaxial-Slot 안테나를 계단형(stair-caseing)으로 근사화하여 분석하였고, 가열 특성을 개선시킬 수 있는 Hyperthermia용 안테나를 설계하였다. 또한 팁으로부터 슬롯 중심까지의 거리( $L_b$ )와 슬롯 폭을 변화시키면서 hyperthermia 안테나의 공진 특성을 분석하였고 계단형 모델로 근사화된 안테나에서 간에 유기 되는 SAR 1g 평균 침투치를 계산하였다. 본 논문에서 제안하는 안테나의 SAR 값은 1g 평균 침투치는 180.7 W/kg으로 나타났고 최대 온도는 상승량은 8.6 °C로 나타났다.

### I. 서론

MCT(Microwave Coagulation Therapy)는 주로 간암을 치료하는데 사용되어지고 치료에서 가는 마이크로웨이브 안테나를 암 세포에 삽입시키고 안테나에 의해서 제공되는 전자파 에너지는 암세포를 포함해서 응고된 지역을 가열한다. hyperthermia 안테나의 전기적 성능은 안테나의 임피던스 매칭과 안테나 주위의 조직 SAR 분

포에 의해서 결정된다. 수십 와트의 마이크로웨이브 전력은 치료온도 범위로 조직의 온도를 높이는데 사용되어지기 때문에 임피던스 매칭은 매우 중요하다.

본 논문에서는 FDTD 해석법을 이용하여 Coaxial-Slot 안테나를 계단형(stair-caseing)으로 근사화해서 SAR의 검출과 분석의 내용을 다루었으며, 2.45 GHz에서 동작하는 hyperthermia 안테나를 최적화하여 설계하였다. 또한 팁으로부터 슬롯 중심까지의 거리( $L_b$ )와 슬롯 폭을 변화시키면서 hyperthermia 안테나의 공진 특성을 분석하였다. 그리고 FDTD 알고리즘을 이용하여 계단형 모델로 근사화한 Coaxial-Slot 안테나로부터 인체간에 유기되는 SAR 1g 평균 침투치와 온도 증가량을 계산하였다.

### II. 본론

#### 2-1. Coaxial-Slot 안테나의 기본 구조

그림 1과 표 1은 인체 삼입식 Coaxial-Slot 안테나의 기본적인 구조와 설계 파라미터이다. 여기서  $d_b$ 는 안테나의 지름,  $d_c$ 는 catheter의 지름,  $t_c$ 는 catheter의 두께,  $L_b$ 는 팁으로부터 슬롯의 중심까지의 거리,  $W_{sl}$ 은

슬롯의 폭, 그리고  $D_s$ 는 인체에 삽입되는 깊이를 나타낸다. 그러나 인체에 삽입되는 안테나의 깊이는 안테나 성능에 영향을 주지 않기 때문에 고려하지 않았다. 케이블의 내부 유전율은 2.03이고 catheter의 유전율은 2.6이다. 안테나의 팁은 단락회로이고 슬롯은 외부도체를 잘라서 만들었다. MCT 안테나는 삽입식이기 때문에 지름이 얇은 케이블을 사용하였다. catheter는 응고된 조직이 MCT 안테나에 들러붙기 때문에 이를 방지하기 위해서 사용한다.

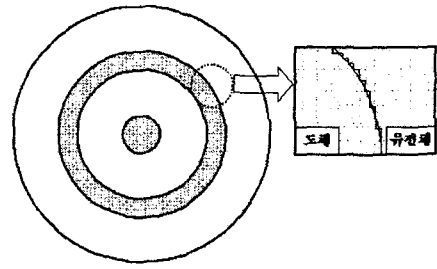


그림 2. 계단형(stair-casing) 모델

표 1. 기본적인 Coaxial-Slot 안테나의 파라미터

$d_b$	안테나의 지름
$d_c$	catheter의 외부 지름
$t_c$	catheter의 두께
$L_{ts}$	팁으로부터 슬롯의 중심까지의 길이
$W_{sl}$	슬롯의 폭

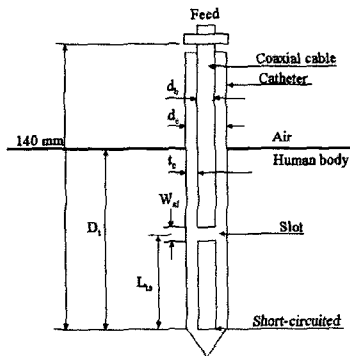


그림 1. coaxial-slot 안테나의 기본 구조

### 2-2. 계단형(Stair-casing) 모델

FDTD해석 방법에서 기본적인 단위 격자는 사각형 구조를 갖는다. 이 같은 이유 때문에 본 논문에서는 Coaxial-Slot 안테나를 FDTD 방법으로 해석하기 위해서 본 논문에서는 그림 3 같은 계단형(Stair-case) 모델을 근사화하는 방법을 이용하였다. 그림 3은 계단형 모델을 나타내며, Coaxial-Slot 안테나의 원형 부분을 정확하게 해석하기 위하여 한 셀의 크기를 작게 해 계단형 모델을 사용하여 전체 구조를 해석하였다.

### 2-3. 안테나의 설계

안테나와 조직의 임피던스 매칭은 Hyperthermia 안테나의 가열 특성에 큰 영향을 주기 때문에 최적의 안테나를 설계하기 위하여 안테나의 지름, catheter의 지름, catheter의 두께, 그리고 인체에 삽입되는 깊이를 고정시키고 팁으로부터 슬롯의 중심까지의 거리( $L_{ts}$ )와 슬롯의 폭을 변화시키면서 공진 주파수의 변화를 살펴보았다. 그리고 인체에 삽입되는 안테나의 깊이는 안테나 성능에 영향을 주지 않기 때문에 안테나 설계에 고려하지 않았다. 그림 3은 팁으로부터 슬롯 중심까지의 거리를 7.5 mm로 고정시키고 슬롯 폭의 길이에 따른 공진 주파수의 변화를 살펴보았으며 폭의 길이가 2mm 일 때 반사손실값이 제일 적었다. 그리고 그림 4는 슬롯 폭의 길이를 2mm로 고정시키고,  $L_{ts}$ 의 길이를 변화시켜 가면서 해석해 보았고,  $L_{ts}$ 의 길이가 커지면서 공진 주파수가 낮아지는 것을 보여주고 있다.

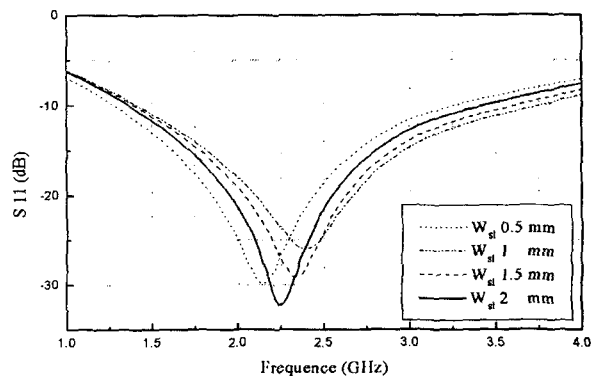


그림 3.  $W_{sl}$ 의 변화에 따른 안테나 특성

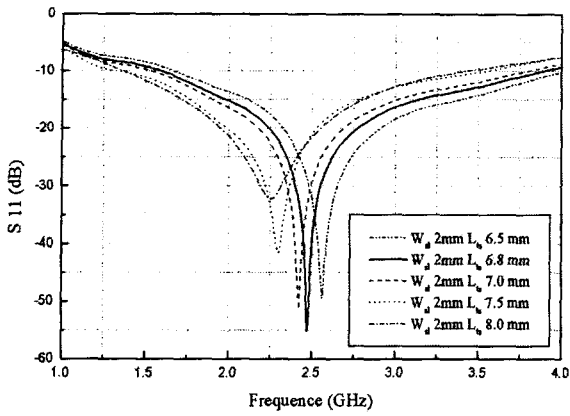


그림 4.  $L_{ts}$ 의 변화에 따른 안테나 특성

본 논문에서는 원하는 주파수 대역인 2.45GHz 근처에서 공진하면서 반사손실이 가장 작은  $L_{ts}$ 의 크기는 6.8mm이다. 슬롯 폭의 길이를 2mm이고  $L_{ts}=6.8\text{mm}$ 일 때의 공진 주파수는 약 2.45GHz이고 반사손실값은 약 -55dB이다. 슬롯 폭과 팁으로부터 중심까지의 거리등의 파라미터를 통해 최적의 파라미터 값을 결정하였고 이 값을 통해 제안된 안테나의 크기를 결정하였다. 최종적으로 본 논문에서 제안하는 안테나는  $d_b=1.19\text{mm}$ ,  $d_c=1.79\text{mm}$ ,  $t_c=0.3\text{mm}$ ,  $W_{sl}=2\text{mm}$ , 그리고  $L_{ts}=6.8\text{mm}$ 이고 이를 시뮬레이션한 결과는 그림 5와 같다.

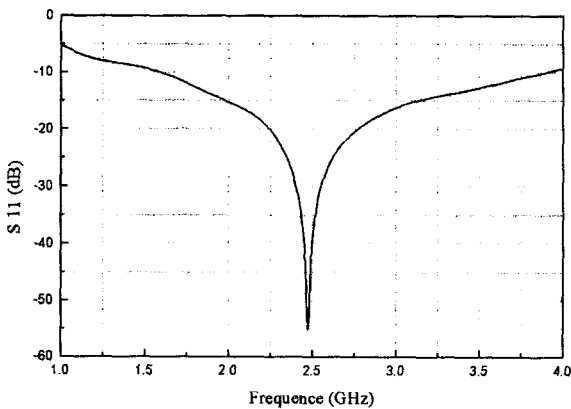


그림 5. 제안된 안테나의 반사손실

### 2-4. SAR의 검출

전자파에 의해 인체에 흡수되는 전력의 시간평균에 대한 물리량인 SAR은 식 (1)으로 정의된다.

$$SAR = \frac{\sigma}{2\rho} |E|^2 \quad [W/kg] \quad (1)$$

본 논문에서는 2.45GHz 주파수의 정현파를 인가하여 시간에 대한 흡수전력의 1g 평균값으로 SAR을 산출하였으며, 입사전력은 50 W의 출력으로 정규화시키기 위해 급전점의 전압을 조절하였다. SAR 계산하기 위해서 간 조직의 물리적 특성은 상대 유전율( $\epsilon_r$ )=43.03, 인체 조직의 전도율( $\sigma$ )=1.69, 그리고 조직의 밀도( $\rho$ )=1.060으로 설정하였고 표 2에 나타내었다. 본 논문에서 제안하는 안테나에 의해서 유기 되는 SAR 값을 그림 6와 7에 나타내었고, 최대 1g 평균 침투 SAR 값이 180.7 W/kg으로 나타났다.

표 2. 인체 간 조직의 특성.

상대 유전율 $\epsilon_r$	43.03
전도율 $\sigma$ [S/m]	1.69
조직의 밀도 $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1,060

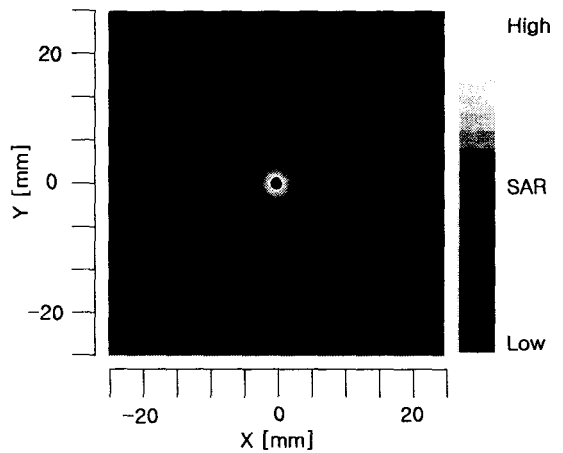


그림 6. 제안된 안테나의 SAR 분포(XY 면)

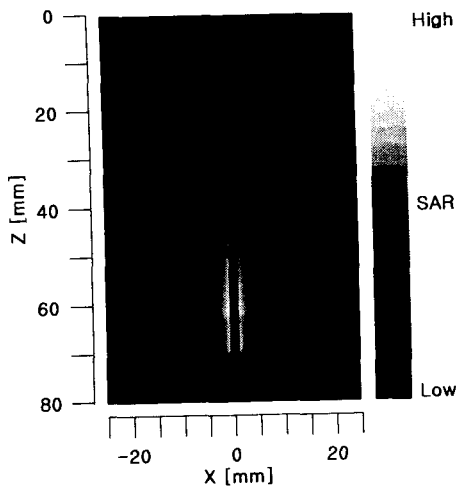


그림 7. 제안된 안테나의 SAR 분포(XZ 면)

#### 2-4. 온도 상승량 계산

식 2에 주어진 파도기 열 전달 방정식을 풀어서 인체 조직안쪽의 온도 분포를 계산할 수 있다.

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = k \nabla^2 T - \rho \rho_b c_b F (T - T_b) + \rho \cdot SAR \quad (2)$$

여기서  $T$ 는 온도( $^{\circ}\text{C}$ ),  $t$ 는 시간(s),  $\rho$ 는 밀도( $\text{kg}/\text{m}^3$ ),  $c$ 는 단위 가열량( $\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}$ ),  $k$ 는 열 전도도( $\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$ ),  $\rho_b$ 는 혈액의 밀도( $\text{kg}/\text{m}^3$ ),  $c_b$ 는 혈액의 단위 가열량( $\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}$ ),  $T_b$ 는 피의 온도( $^{\circ}\text{C}$ ), 그리고  $F$ 는 혈액 순환율( $\text{m}^3/\text{kg} \cdot \text{s}$ )이다.

식 2 오른쪽의 첫 번째, 두 번째, 그리고 세 번째 항들은 열 전도도, 혈액 순환에 의한 열 손실, 그리고 전계에 의한 열 발생을 의미한다.  $T_b$ 의 온도는 조직의 초기 온도와 같다고 가정하였다.

흡수 전력에 의한 최대 온도 증가량의 계산은 정상상태 계산으로 가능 한다. 그러면 식 2를 시간에 대한 변화가 없고 공간에 대한 변화가 없다고 가정하게 되면 임의의 한 지점에서 정상상태 이후의 온도 증가량은 다음과 같다.

$$T(x, t = \infty) = \frac{\rho SAR}{\rho \rho_b c_b F} \quad (3)$$

그리고  $\rho \rho_b c_b F$ 는 혈액 순환과 관계되는 계수

$b(\text{W}/\text{m}^3 \cdot \text{C})$ 로 나타낼 수 있다.  $b$ 의 값을  $22,247 (\text{W}/\text{m}^3 \cdot \text{C})$ 로 두고 정상상태 이후의 최대 온도 증가량을 계산하면  $8.6 \cdot \text{C}$ 로 나타난다.

### III. 결론

본 논문에서는 Hyperthermia용 Coaxial-Slot 안테나의 공진 특성을 분석하였고 가열 특성을 개선시킬 수 있는 Coaxial-Slot 안테나를 제안하였다. 그리고 팁으로부터 슬롯의 중심까지의 거리( $L_b$ )와 슬롯의 폭을 변화시키면서 공진 주파수의 변화를 살펴보고 2.45GHz에서 동작하는 Hyperthermia용 Coaxial-Slot 안테나를 최적화하여 설계하였다. 그 결과 제안된 안테나의 공진 주파수는 약 2.45 GHz이고 반사손실값은 약 -55 dB이며, SAR 값은 1g 평균 침투 SAR 값이 180.7 W/kg으로 나타났고 정상 상태 이후의 최대 온도 상승량은 8.6  $\cdot \text{C}$ 로 분석되었다.

### 참고 문헌

- [1] K. SAITO, T. Taniguchi, H. Yoshimura, and K. Ito, "Estimation of SAR distribution of a tip-split array applicator for microwave coagulation therapy using the Finite Element Method," IEICE Trans Electron., Vol. E84-C, No.7 pp.948-954, 7, 2001.
- [2] J. B. Schneider and K.L. Shlager, "FDTD simulations of TEM Horns and the implications for stair cased representations," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 45, pp. 1830-1838, Dec., 1997.
- [3] J. D. Park and N. Kim, "SAR analysis on human head caused by PCS handheld telephone," BEMS 21th Annual Meeting, pp. 166-167, June 1999.
- [4] D. W. F. Su and L. K. Wu, "Input impedance characteristics of coaxial slot antennas for interstitial microwave hyperthermia," IEEE Trans. Microwave Theory & Tech., vol. 47, no.3, pp. 302-307, Mar., 2000.
- [5] S. Pisa, M. Cavagnaro, P. Bernardi, and J. C. Lin, "A 915-MHz antenna for microwave thermal ablation treatment: physical design, computer modeling and experimental measurement," IEEE Trans. Biomed. Eng., vol.48, no. 5 pp.599-601, May. 2001.